

冷凍冷藏系統節能技術探討 以台糖量販店為例

吳東錦
益泰實業有限公司

一、前言

近年來全球氣候變遷異常，節能減碳已成為各國持續推動之重點政策，企業開始注重能源使用方式與設備運轉效率。一般設有冷凍冷藏系統之行業為量販店、購物中心、超級市場、物流中心及便利商店等，初步已對於容易改善之照明系統及高耗能的空調系統進行改善。雖然冷凍冷藏系統用電占比並無空調系統來的高，但對於一些特定的能源用戶或是冷凍冷藏需求較高之行業，冷凍冷藏系統仍有許多可執行的節能改善空間，若能針對冷凍冷藏設備進行改善，相信將更能幫助企業在營運上降低能源成本。

多數所販售的生鮮產品都必須仰賴冷凍冷藏設備以保持其新鮮度，且設備需 24 小時全年維持一定的溫濕度條件，同時系統的運轉效率隨著設備機齡的增加而下滑。一般企業用戶往往只在乎系統冷能是否正常供應，但卻忽略了設備運轉效率及平日維護保養的重要性，導致商業冷凍冷藏設備的耗能量日益增加。因此若能對於冷凍冷藏相關設備進行改善及管理，將可提升設備效能及減少能源耗用量。

在冷凍冷藏設備中除霜是一項重要的課題，當冷凍系統運轉在 0°C 以下時，蒸發盤管表面會因空氣中含有水份造成在盤管表面

形成結霜的情況發生。若結霜太厚對蒸發盤管而言猶如包覆一層絕熱材料，更嚴重的情況甚至會結冰，對熱傳有很大的損失。且隨著霜層厚度的增加，空氣流道變窄風量會下降，冷凍能力及吸氣壓力跟著降低，壓縮機效率也會惡化，風扇表面甚至會因結冰導致風扇卡死，造成送風馬達燒毀。由此可知結霜過厚對整個冷凍循環有重大的影響。

基於上述冷凍冷藏耗能主因，將以案例的方式來說明實際執行的成效。針對國內 2 間大型量販店（台糖北港店及台糖屏東店）以熱氣除霜冷凍冷藏系統取代傳統電熱除霜方式，並更新冷凍冷藏系統設備提升冷凍冷藏櫃（庫）效能，著重於冷凍冷藏機組的運轉效能提升，整體節能量高達 40%，大幅提高能源使用效率，可供各能源用戶在冷凍冷藏系統節能技術與能源管理的兩大需求上參考應用。

二、熱氣除霜冷凍冷藏系統介紹

冷凍冷藏系統有許多適用於各種場合之不同除霜方法，目前國內相當常見的一種為電熱除霜除霜方法。其原理是在蒸發器上加裝電熱絲，利用電熱管之熱量來達到除霜之目的，為外部熱源以熱對流和熱傳導一起進

行。由於熱量傳遞較慢且庫內溫度波動較劇烈，容易影響庫內商品，而一般電熱除霜時間為 30-40 分鐘，除霜時間長且相當耗能。

而熱氣除霜系統 (Discharge to defrost system, 簡稱 D2D 系統) 主要將壓縮機排出的高溫熱氣冷媒當做熱源，靠電磁閥分量而直接進入蒸發器中供除霜用，而無需額外提供熱能。一般熱氣除霜在 18 分鐘內即完成，大幅縮短系統除霜時間，相當節省能源；熱氣除霜與傳統電熱除霜比較如表 1 及圖 1、圖 2 所示，由圖表中可比較出 2 種除霜方式之差異性。在同樣的庫溫條件下 (-20°C)，採用電熱除霜之冷凍庫內溫度最高上升至 7°C ，而採用熱氣除霜之冷凍庫內溫度為 -9°C ，兩者的溫差為 16°C ，對於庫內的商品將會造成影響，同時熱氣除霜的時間大幅縮短、除霜效果也明顯優於電熱除霜方式。使用熱氣除霜後的蒸發器外觀如圖 3 所示。

對於整體冷凍冷藏系統效能提升，除了採用熱氣除霜方式外，另一項節能重點在於將冷凍冷藏機組整併。以目前國內量販店的系統配置方式，普遍將冷凍及冷藏系統分開，各自設有獨立供應的主機。本案例先前也是將冷凍及冷藏系統各自以一部主機供應，而改善後規畫以一部併聯式冷凍冷藏機組取代二部冷凍及冷藏主機；而壓縮機部分，則採用高效能半密往復式六缸壓縮機，取代原四缸壓縮機提升運轉效能。北港店原系統配置方式，冷凍主機為 90HP(30HP×3 台)，冷藏主機為 120HP(30HP×4 台)，改善後以 165HP 冷凍冷藏主機供應(冷凍壓縮機為 25HP×3 台、冷藏壓縮機為 30HP×3 台)；而屏東店原系統配置方式，冷凍主機為 100HP(25HP×4 台)，冷藏主機為 150HP(30HP×5 台)，改善後以 210HP 冷凍

表 1 熱氣除霜與傳統電熱除霜之比較

熱氣除霜	電熱除霜
由系統回收消耗的熱能來除霜	必須加裝除霜電熱絲
高效率的除霜方式	較低效率的除霜方式
除霜次數：每日 1-2 次	除霜次數：每日 4-6 次
除霜時間：每次 18 分鐘	除霜時間：每次 30-40 分鐘
庫內溫度影響小	庫內溫度影響大
僅需增設熱氣除霜管路	除霜電熱絲為消耗性零件且耗電量大

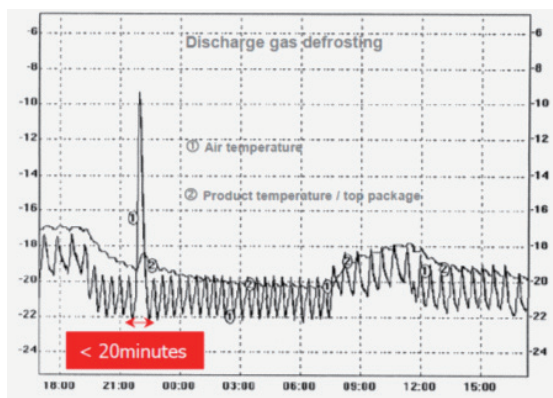


圖 1 採用熱氣除霜之庫內溫度變化

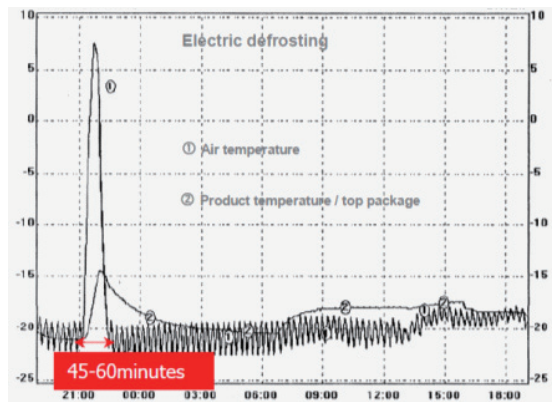


圖 2 採用電熱除霜之庫內溫度變化



圖 3 冷凍臥櫃使用熱氣除霜後之蒸發器外觀

冷藏主機供應（冷凍壓縮機為 25HP×2 台及 20HP×2 台、冷藏壓縮機為 30HP×4 台）。冷凍冷藏機組配置如表 2 所示，冷媒採用 R404A 取代原 R22 及 R408 冷媒，原冷凍及冷藏系統之氣冷式冷凝器，整併更新為冷凍冷藏共用之低噪音冷凝器，並新設冷凍冷藏系統管路。

上述主要為冷凍冷藏設備的改善，而賣場冷凍冷藏櫃（庫）結構並未更新，僅於現場整理冷凍冷藏櫃（庫），同時更換系統之控制器、膨脹閥、出回風溫濕度計及調整感應器位置等，並於開放式展示櫃及冷凍冷藏庫之照明全面採用 LED 燈具，而既設熱水系統整併至新設熱氣回收系統供應（可提供 45℃ 以上水溫），搭配冷凍冷藏監控系統，包括系統運轉狀態、運轉紀錄、過載保護、異常顯示功能，當系統故障或冷凍冷藏櫃（庫）失溫等異常狀況主動發出信號通知相關人員處理，強化整體監控系統之完整性。

三、改善後冷凍冷藏系統節能效益

為正確量測節能成效，遵循國際量測與驗證協定 (International Performance Measurement and Verification Protocol, IPMVP) 要求之作業程序與方法，於工程改善前後連續量測冷凍冷藏系統設備耗能參數，包含外氣溫濕度、蒸發溫度、風扇冷卻能力、系統冷凍能力及冷凍冷藏系統耗電功率等。藉由改善前量測建立性能基準線，並與改善後之量測結果比較，在相同操作條件下，驗證新、舊設施之間的節能量，參數分析計算節能效益如方程式（如下）所示。

節能率 (%) = (實際總節能量 / 未經改善前之總耗能量) × 100%

為降低因外在環境溫度不同影響量測結果之公正性，以改善前相同時間與環境下量測，依序分別於 2 間賣場連續 2 週量測統計總耗電量做為依據，取樣運轉資料的間隔時間以每分鐘一筆記錄，量測結果彙整如下：

根據台糖北港量販店量測數據，冷凍冷藏系統改善前平均耗電為 136.48kW，改善後系統平均耗電為 82.08kW，節能率達 39.9%，如圖 4 所示。另對於台糖屏東量販店，冷凍冷藏系統改善前平均耗電為 216.16kW，改善後系統平均耗電為 128.5kW，節能率達 40.6%，如圖 5 所示，顯見冷凍冷藏設備導入熱氣除霜系統、採用高效能機組並搭配智慧管理系統，將有助於系統效能提升。

表 2 北港店及屏東店冷凍冷藏機組配置

項目	改善前	改善後	項目	改善前	改善後
北港店	210 HP	165 HP	屏東店	250 HP	210 HP
冷凍主機	90 HP	75 HP	冷凍壓縮機	100 HP	90 HP
冷藏主機	120 HP	90 HP	冷藏壓縮機	150 HP	120 HP

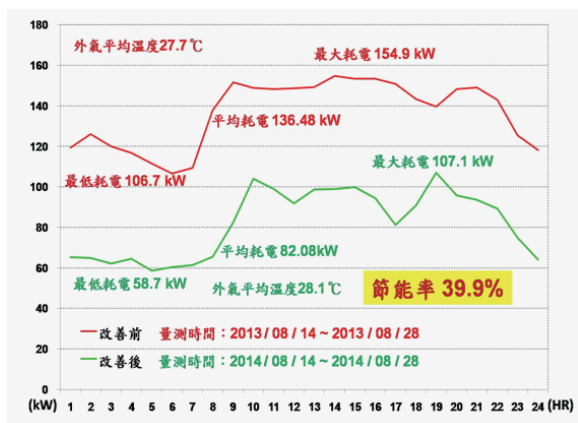


圖 4 台糖北港量販店 - 冷凍冷藏系統用電分析

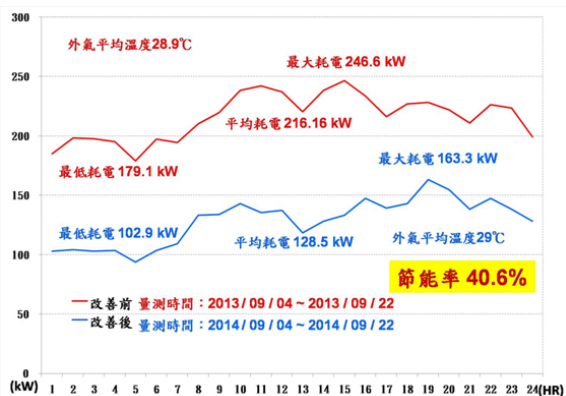


圖 5 台糖屏東量販店 - 冷凍冷藏系統用電分析

四、結語

經由實際改善案例量測結果顯示，若對於冷凍冷藏系統設備導入熱氣除霜系統、採用高效能機組並搭配智慧管理系統，將有助於降低設備耗電量與能源費用支出。透過系統數據分析結果，國內 2 間量販店進行冷凍冷藏系統改善後，節能成效分別為北港店 39.9% 及屏東店 40.6%，節能成效佳，值得相關能源用戶參考應用。一般冷凍冷藏主機汰換回收年限約 10~15 年，本案回收年限僅 7.6 年，已大幅縮短設備的回收年限。因此日後能源用戶若能落實此節能技術於冷凍冷藏設備中，不僅有助於降低耗電量，亦可降低能源費用，對於產業而言可提升市場競爭力，對國家整體節約能源及抑低二氧化碳目標亦有貢獻。

